



T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

SODYUM NİTROPRUSSİDİN ÇİLEK BİTKİSİNDE SEL
BASKINI STRESİNE KARŞI ETKİLERİNİN
BELİRLLENMESİ

Emrullah KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. SERVET ARAS

TEMMUZ – 2024

YOZGAT

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

SODYUM NİTROPRUSSİDİN ÇİLEK BİTKİSİNDE SEL
BASKINI STRESİNE KARŞI ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ

EMRULLAH KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. SERVET ARAS

TEMMUZ – 2024

YOZGAT



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ONAY FORMU

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi Emrullah KAYA'nın hazırladığı “Sodyum Nitroprussidin Çilek Bitkisinde Sel Baskını Stresine Karşı Etkilerinin Belirlenmesi” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince/...../..... günü saat ...:....'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan :

Jüri Üyesi :

(Danışman)

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

...../...../.....

Prof. Dr.

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlâk kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdığı yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğini beyan ederim.

Emrullah KAYA

12/07/2024

ÖN SÖZ

Ülkemizde ve dünya üzerinde, üretimi ve ekiliş alanı artarak devam eden çilek yetiştiriciliğinde, son yıllarda sıklıkla karşılaşmaya başladığımız sel baskınına karşı çilek bitkisinin bu stres koşullarına dayanımı oldukça zordur. Yapmış olduğumuz bu çalışmada çilek yetiştiriciliğinin önünde giderek büyüyen sel baskını stresine karşı SNP uygulamasının bitkinin bu olumsuz şartları tolere ederek stres zararının azaltılması amaçlanmıştır. Üretici/çiftçilerimizin meteorolojik verilere dayalı olarak yaptıkları tarımsal üretimde önceden tahmin edilebilen olası sel baskınlarında rekolte kayıplarının olmadığı veya çok az olduğu bir uygulamayı kazandırmak planlanmıştır.

Tez çalışmamın çalışma konusunun belirlenmesinde, denemenin kurulmasında, yürütülmesinde, emeğini esirgemeyen, kıymetli bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan, danışman hocam Doç. Dr. Servet ARAS'a teşekkür eder ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmanın laboratuvar aşamasında histoloji alanında yapmış olduğu yardımları ile çalışmanın sonuçlandırılmasında büyük emeği olan Öğr. Görevlisi Dr. Şenay KARABIYIK'a (Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bahçe Bitkileri Bölümü) özverili yardım ve çalışmalarından dolayı çok teşekkür ederim. Son olarak yaşamım boyunca bana destek olan, hayatı daha anlamlı kılan değerli eşim ve biricik oğluma tez çalışma döneminde de desteklerini sürdürdükleri için çok teşekkür ederim.

Emrullah KAYA

12/07/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SODYUM NİTROPRUSSİDİN ÇİLEK BİTKİSİNDE SEL BASKINI STRESİNE KARŞI ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

EMRULLAH KAYA

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
BAHÇE BİTKİLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: Doç. Dr. SERVET ARAS

Bitkiler çeşitli anatomik yapıda düzenlemeler ile hipoksi stresine uyum sağlayabilmektedir. Köklerde ve/veya yapraklarda gaz boşluğu oluşumu, bitkilerin oksijen depolanmasına yardımcı olur. Nitrik oksit (NO) bitkilerde aerenkima oluşumunu tetikler. Mevcut çalışmada, sel baskını koşulları altında sodyum nitroprussidin (NO donörü olarak SNP) çilek bitkisi üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. Albion çeşidi çilek bitkileri saksılara dikilmiş ve dikimden 1 ay sonra bitkilere, 100 µmol SNP çözeltisi ve sel baskını uygulanmıştır. SNP uygulamasından 2 saat sonra bitkilere sel baskını uygulanmıştır. Kontrol bitkileri optimum toprak nemi koşullarında tutulmuştur. Bitkilerin bir kısmı stres uygulandıktan 1 ve 2 gün sonra hassas bir şekilde söküm işlemi gerçekleştirilmiş ve iyi drenajlı koşullar altında 14 günlük iyileşme süreci takip edilmiştir. Çalışmanın sonunda sel baskını stresi çilek büyümesini baskılamış ve klorofil biyosentezini engellemiştir. SNP uygulaması, sel baskını koşulları altında bitki büyümesini, korteks hücre büyümesini ve ksilem iletim demeti çapını geliştirmiştir. Ayrıca SNP meyve kalite özelliklerini arttırmıştır. SNP uygulaması, stresli olmayan koşullarda sünger parankimasının dayanıklılığını güçlendirirken, stresli dönemlerde süngerimsi hücrelerin gaz üretimini artırmıştır.

2024, xi + 34 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Aerenkima Dokusu, Asfeksi, Nitrik Oksit, Sel Baskını, Sodyum Nitroprussid,

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF THE EFFECTS OF SODIUM NITROPRUSSIDE ON FLOODING STRESS IN STRAWBERRY

EMRULLAH KAYA

**YOZGAT BOZOK UNIVERSITY
SCHOOL of GRADUATE STUDIES
WRITE YOUR DEPARTMENT**

SUPERVISOR: Assoc. Prof. Dr. SERVET ARAS

Plants typically adapt to hypoxia stress through various anatomical adjustments. Gas space formation in roots and/or leaves helps plants to deliver oxygen. Nitric oxide (NO) triggers aerenchyma formation in the plants. In the current experiment, we evaluated the effects of sodium nitroprusside (SNP, as a donor of NO) on strawberry under waterlogging conditions. Albion cultivar strawberry plants were planted in pots and 1 month after planting, plants underwent waterlogging stress by placing pots within plastic containers filled with either water or a 100 μ mol SNP solution. Waterlogging condition was employed to the plants 2 hours later SNP treatment. Control plants were kept under optimal soil moisture conditions. Some of the plants were delicately uprooted at 1 and 2 days after imposing the stress and 14 days of recovery period was followed under well-drained condition. End of the study, waterlogging stress depressed strawberry growth and hampered chlorophyll biosynthesis. SNP treatment improved the growth, cortical cell expansion, xylem conduit diameter under waterlogging conditions. Moreover, SNP increased the fruit quality properties. SNP treatment fortified the durability of spongy parenchyma in unstressed scenarios while specifically hindering spongy cells to amplify gas production amidst stressful periods.

2024, xi + 34 Pages

Keywords: Aerenchyma Tissue, Asphyxia, Nitric Oxide, Flooding, Sodium Nitroprusside,

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEZ ONAY SAYFASI	ii
TEZ BEYANI.....	iii
ÖN SÖZ.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	7
3. GEREÇ ve YÖNTEM	12
3.1. Deneme Materyali ve Planı.....	12
3.2. Uygulamaların Bitki Fizyolojisi Üzerine Etkileri	14
3.3. Uygulamaların Yaprak Histolojisine Etkileri	14
3.4. Sel Baskınına Tolerans İndeksinin Belirlenmesi	15
3.5. Uygulamaların Meyve Pomolojisi Üzerine Etkileri.....	15
3.6. İyileşme İncelenmesi (Recovery).....	15
3.7. İstatiksel Analiz.....	16

4. BULGULAR	17
5. TARTIşMA	24
6. SONUÇ ve ÖNERİLER	27
7. KAYNAKLAR.....	28



TABLÖLAR LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 1.1. 2022 dünya çilek üretimi	2
Tablo 1.2. Bitkilerde stres faktörleri	3
Tablo 4.3. Sel baskını koşullarında çilekte SNP'nin lamina kalınlığı, sünger hücre alanı ve yaprak aerenkima yüzdesi üzerine etkileri	19
Tablo 4.4. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte korteks hücre çapı (µm) ve ksilem çapına (µm) etkileri.....	20
Tablo 4.5. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte kuru kök/ sürgün oranı ve büyüme oranı konsantrasyonlarına etkisi	21
Tablo 4.6. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte klorofil <i>a</i> , <i>b</i> ve <i>a+b</i> konsantrasyonlarına etkileri	21
Tablo 4.7. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte Proto IX, Mg-Proto IX ve Pchlide konsantrasyonlarına etkileri	22
Tablo 4.8. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte büyüme oranı tolerans indeksi ve klorofil tolerans indeksi üzerine etkileri	22
Tablo 4.9. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte meyve ağırlığı, eni ve boyu üzerine etkisi.....	23
Tablo 4.10. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte SÇKM ve meyve kırmızılığı üzerine etkisi.....	23

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. FAO verilerine göre 1994-2022 yılları arasında kıtalara göre dünya çilek üretimi	2
Şekil 3.2. Dikim toprağının hazırlanması (A), seranın ilaçlanması (B), fidelerin saksılara dikilip seraya yerleştirilmesi (C) ve sel baskını stresinin uygulanması (D).....	13
Şekil 3.3. Deneme deseni.....	16
Şekil 4.3. Kök ve yaprak kesitlerin genel görünümü; kök (A), korteks hücreler (B) ve yapraktaki ksilem demetleri (C)	17
Şekil 4.4. Kesit lamina görüntüleri, A-Kontrol, B-SNP, C-1 günlük sel baskını, D-1 günlük sel baskını +SNP, E-2 günlük sel baskını, F-2 günlük sel baskını + SNP	18
Şekil 4.5. Uygulamaların bitki büyümesi üzerine etkileri; A-Kontrol, B-SNP, C-1 gün sel baskını, D-1 gün sel baskını + SNP, E-2 gün sel baskını, F-2 gün sel baskını + SNP.....	20

SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
g	: Gram
L	: Litre
m²	: Metrekare
m³	: Metreküp
pH	: Power of hydrogen
ppm	: Parts per million

Kısaltmalar	Açıklamalar
NO	: Nitrik Oksit
PHÖ	: Programlanmış Hücre Ölümü
ROS	: Reactive Oxygen Species (Reaktif oksijen türleri)
SNP	: Sodyum Nitroprussid

1. GİRİŞ

Çilek (*Fragaria* × *ananassa* Duch) üzüksü meyveler grubuna giren türlerden en önemlisidir. Çilek pomolojik olarak üzüksü meyveler grubunda yer alırken, botanik sınıflamada Rosales takımının, *Fragaria* cinsine girmektedirler. Bu cinse giren 40 türün olduğu belirtilmesine karşın şimdiye kadar 17 tür botanik olarak tanımlanmış ve sınıflandırılmıştır. Bu türler ploidi düzeylerine göre 9 diploid, 3 tetraploid, 1 hekzaploid ve 4 oktaploid olmak üzere 4 gruba ayrılır. Ticari olarak yetiştiriciliği yapılan kültür çileklerinin büyük bir bölümü oktaploid olan *F. x ananassa* türüne girerler ve bu tür 2 yerli Amerikan türünün (*F. chiloensis* x *F. virginiana*) melezlenmesi ile elde edilmiştir (Staudt, 1989).

Çok yıllık, otsu bir bitki olan çilek; lezzeti, vitamin ve mineral madde kapsamı ile dünyada milyonlarca kişi tarafından beğenilmektedir. Kültürü yapılan çilekler, çevre koşullarına uyumda geniş bir varyasyon gösterir. Bir yörede çok iyi gelişen verimli bir çeşit, farklı çevre şartlarında iyi sonuç vermeyebilir. İlkbaharda hiçbir meyvenin bulunmadığı bir zamanda olgunlaşması nedeniyle, tüketici tarafından aranılan bir meyvedir.

Çilek, hem sanayiye elverişli hem de taze olarak tüketilebilen çok lezzetli ve hoş kokulu bir meyve türüdür. Bol miktarda A, B, C vitaminleri, kalsiyum, demir ve fosfor gibi mineral maddeler içerir. Taze olarak sofrada yararlanılmasının yanında çileğin pastası, reçeli, marmelatı, kompostosu, dondurması, şırası, şarabı, şampanyası ve likörü de yapılmaktadır. Çilek tüketici tarafından arzulanan bir meyve olduğu için derin dondurma yoluyla uzun süre saklanarak da tüketilebilir.

Çilek ara ziraat olarak yetiştirildiği gibi, diğer ürünlerin sınırlı yetiştiiği yamaç ve dağ köylerindeki arazide de yetiştirilebilmektedir. Değişik iklim ve toprak karakterleri yönünden ülkemiz çilek yetiştiriciliğinde önemli bir potansiyele sahiptir.

Türüne has lezzet özellikleri ve zengin vitamin içermesi sebebiyle çokça beğenilen meyveler arasında yer alan çilek meyvesi, tarım yapılabilen tüm bölgelerde yetiştirilebilmektedir. Ülkelerin çilek üretimi 2022 yılı istatistiklerine göre, 1.293.3872,48 ton olup; çilek üretiminde her yıl ciddi artışlar olmaktadır. Çilek meyvesinin üretiminde en önemli üretici ülke Çin Halk Cumhuriyeti olup üretimin yaklaşık % 26,01' ini karşılamaktadır.

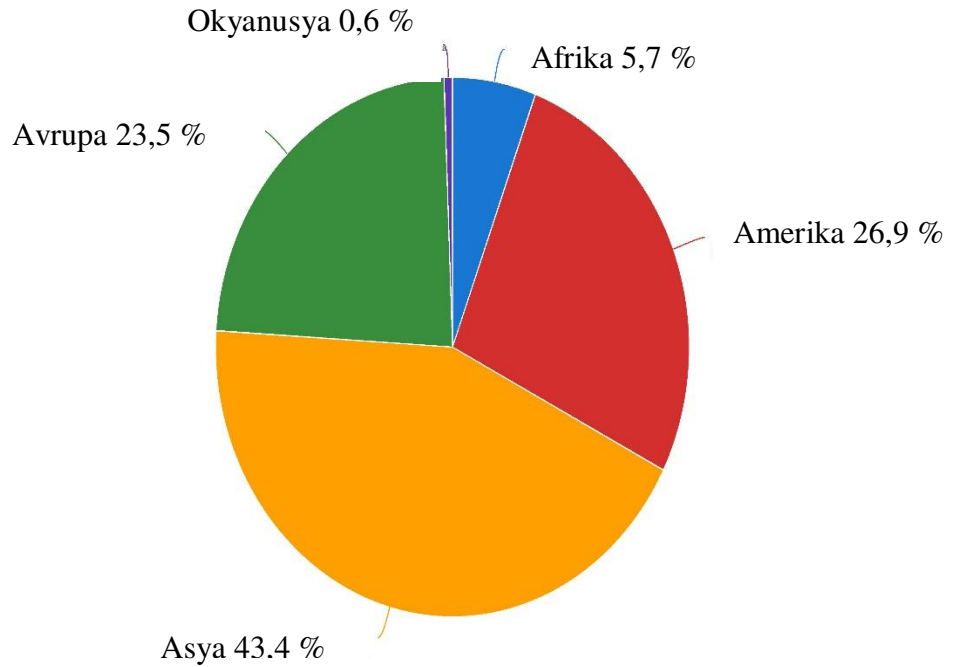
2. sırada ise ABD en fazla üretimi gerçekleştirmektedir. Türkiye ise 728.112 tonluk çilek üretimiyle dünyada 3. sırada yer almaktadır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. 2022 dünya çilek üretimi (FAO, 2022)

Ülke	Yıl	Üretim (Ton)
Çin	2022	3.364.007,58
ABD	2022	1.261.890,00
Türkiye	2022	728.112,00
Mısır	2022	637.842,16
Meksika	2022	568.271,93
İspanya	2022	325.880,00
Rusya	2022	254.800,00
Polonya	2022	199.400,00
Kore Cumhuriyeti	2022	192.889,29
Brezilya	2022	183.922,50
Japonya	2022	164.431,19

FAO verilerine göre 1994-2022 yılları arasında dünya çilek üretimi ve yetiştiricilik alanlarına ait değerler aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir (Şekil 1.1)

Kıtalara Göre Çilek Üretim Payı 1994-2022



Source: FAOSTAT (March 5, 2024)

Şekil 1.1. FAO verilerine göre 1994-2022 yılları arasında kıtalara göre dünya çilek üretimi

İnsanoğlu beslenme ihtiyacını tarım ve hayvancılık yaparak karşılayabilmektedir. Bitkisel üretim yaparken her zaman hedeflenen kalite ve miktarda ürün elde edilemeyebilir. Bu süreçler esnasında çevrelerinde gelişen birtakım olumsuz koşullar bitkilerin metabolik ve fizyolojik olaylarla karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır. Bitkiler, büyüyüp gelişene kadar ki yaşam döngüleri sırasında bulundukları çevrenin canlı (biyotik) ve cansız (abiyotik) stres faktörlerine ayrı ayrı veya birlikte maruz kalmaktadırlar. Biyotik ve abiyotik olarak sınıflandırılan stres faktörleri bitkilerin fizyolojik, morfolojik ve metabolik gelişimlerini olumsuz yönde etkilediği için ürün miktarının ve kalitesinin ciddi anlamda azalmasına neden olmaktadır (Fujita vd., 2006).

İşte tam bu noktada bitkinin genetik potansiyelini sınırlandırmak suretiyle rekolte kayıplarına sebep olan etmenlere stres faktörleri denmektedir. Stres faktörleri genel olarak biyotik ve abiyotik olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır.

Abiyotik stres faktörleri olarak atmosfer, toprak, iklim faktörleri (yüksek ve düşük sıcaklık, kuraklık, kuvvetli rüzgâr, sel baskını), radyasyon olayları ve ışık şiddeti gibi birçok çevresel faktör örnek olarak verilebilir. Biyotik stres faktörleri olarak ise bitkilerin hayvanlar veya mikro organizmalar tarafından zarar görmesi olarak ifade edilmektedir. Bunların yanı sıra sanayileşmeyle birlikte çevreye büyük zararlar veren son derece tehlikeli kimyasal kirleticilere karşı bitkiler savunmasız kalmaktadır (Kacar vd., 2006).

Tablo 1.2. Bitkilerde stres faktörleri

Abiyotik faktörler		Biyotik faktörler
Fiziksel	Kimyasal	
Kuraklık ve Tuzluluk	Hava kirliliği	Hastalık etmenleri
Sel baskını, rüzgâr, kar vb.	Bitki besin elementleri	Yabani bitkiler
Radyasyon ve yüksek ya da düşük sıcaklık	Pestisitler ve Toksinler	Böcekler
Yapraklarda kıvrılma	Toprak pH'sı	Mikroorganizmalar
Bitki besin maddeleri	Tuzlar	Hayvanlar

Dünya nüfus artışının son yıllarda hızla artması ve küresel ısınma sebebiyle de doğaya ve çevreye verilen zarar sonucunda beslenme sorunu ortaya çıkmıştır. Stres sebeplerine bağlı olarak tarımsal alanların kullanımı sınırlandırarak azalttığı için meydana gelen rekolte kayıplarıyla beraber insanlar gıda ve açlık problemine maruz kalmaktadır. Çok sayıda yapılmış araştırma sonuçları gösteriyor ki yüksek sıcaklıklar sebebiyle oluşan kuraklığın sulanan tarım arazilerinin tuzlanarak, kuraklaşmasına neden olacağını belirtmiştir (Wang vd., 2004; Türkan ve Demiral, 2009).

Dünya genelinde tarımsal arazilerde üretimi yapılan bitkilerdeki %50'den fazla verim azalışının nedeni abiyotik faktörlerdir. Bu stres olaylarından abiyotik stres faktörlerinin birbirleri ile olan ilişkileri oldukça önemlidir. Mesela soğuk stresinde su donduğu için bitki sudan yararlanamaz, aynı şekilde kuraklık döneminde su bitkinin alabileceği yeterli seviyede olmadığından bitki bu şekildeki sudanda yararlanamadığı için su kıtlığı meydana gelir. Tuzlu arazilerde de benzer şekilde tuz ortamdaki suyu absorbe ettiği için bitkinin alımını güçleştirir (Ashraf ve Foolad, 2007).

Bitkiler yaşamları boyunca kuraklık, sel baskını, düşük ve yüksek sıcaklık, kireç, tuzluluk gibi birçok çevresel strese maruz kalmakta olup meyve verim ve kalitesinde kayıplar yaşanmaktadır. Sel baskını bitki gelişimini sınırlayan önemli çevresel faktörlerdendir. Bu stres bitkilerin hayatta kalmasını, biyokütlesini ve bitki uzunluğunu olumsuz yönde etkilemektedir (Loreti vd., 2016). Sel baskını stresi bitkilerin köklerinde oksijen azalmasına ve köklerin boğulmasına (asfeksi) sebep olur (Jackson ve Colmer, 2005). Bitkilerin sel olayları nedeniyle tamamen suya batması, toprak üstü organlarında oksijen yetersizliğine yol açabilir (Voesenek vd., 2006). Oksijen solunum için sınırlayıcı hale geldiğinde bitkiler hipoksi yaşarken, oksijenin tamamen yokluğu (anoksi) bitkinin ölümüne sebep olabilir. İklim değişiklikleri, su varlığında aşırı uç noktalara yol açabilir ve bu da bazı bölgelerde şiddetli kuraklığa neden olurken, aşırı yağış olaylarından kaynaklanan seller diğer coğrafi alanları etkileyebilir (Bailey-Serres vd., 2012). Bahçe bitkilerinden otsu bitkiler sel baskınına hassas olup çilek bu hassas bitkiler içerisinde yer almaktadır (Blanke ve Cooke, 2004).

Sel baskını stresi bitkilerde meyve verim kalitesini sınırlandıran önemli sınırlayıcı faktörlerden biridir. Subtropikal bölgelerde uzun süreli mevsimsel yağışlar ciddi ürün kayıplarına sebep olabilir. Ayrıca eğimi olmayan ve/veya çukur arazilerde sel baskını sebebiyle oluşan su birikimi sonucunda bitki kökleri hipoksiye veya anoksiye maruz kalır.

Bitkiler farklı savunma mekanizmalarıyla sel baskını stresine karşı toleransını artırabilmektedir. Bitkiler, hava depolanmasını sağlamak amacıyla gaz boşlukları olan aerenkimayı artırabilir ve/veya yapısal olarak geliştirebilir (Takahashi vd., 2014). Bitkiler normalde anatomik tepkiler yoluyla asfeksi stresine alışabilirler. Aerenkima oluşumu, ürünün asfeksiye karşı toleransının önemli bir göstergesidir (Liang vd., 2008). Aerenkima, bitkilerde bulunan gaz depolanmasından sorumlu olan bir dokudur (Evans 2004) ve köklerde, yapraklarda ve yaprakların ana damarlarında iyi şekilde gelişebilir (Takahashi vd., 2014). Aerenkima oluşumu bitkilerde oksijen dağıtımını kolaylaştırır (Kludze vd., 1993). Yaprak dokusunda aerenkimayı değerlendirmeye yönelik çok az çalışma olmasına rağmen, birçok türde bir savunma mekanizması olarak köklerde aerenkima oluşumu bildirilmiştir. Ni vd. (2014), sel baskını uygulanan *Typha angustifolia* bitkilerinin hayatta kalabilmek için yapraklarda aerenkima oluşumunun arttırdığını belirlemişlerdir. Yin vd. (2012), *Chrysanthemum zawadskii*'nin sel baskını uygulaması altında yapraklardaki aerenkima alanının 4,5 kat arttığını belirtmiştir.

Aerenkima, programlanmış hücre ölümü (PHÖ) mekanizması tarafından korteksteki bazı hücrelerin ölümü gerçekleştirilmesiyle oluşmaktadır (Takaki vd., 2013). Nitrik oksidin (NO) birçok bitkide PHÖ'yi tetiklediği bildirilmiştir (Wang vd., 2013). NO donörleri, bitkilerin bünyesinde NO birikimini sağlayan maddelerdir; sodyum nitroprussid (SNP), en yaygın kullanılan NO donörlerinden biridir (Jian vd., 2016; Aras vd., 2020). Bitkilerin çevresel stres faktörlerine karşı toleransını arttırmak için stoma hareketi, fotosentez, klorofil biyosentezi ve ksilem oluşumu gibi bitkilerde önemli roller oynamaktadır (Aras vd., 2020; Chavoushi vd., 2020; Aras 2022).

Aerenkimanın artması ile birçok bitkinin sel baskınına karşı dayanıklılıklarının arttığı bildirilmiştir (Visser vd., 2000). Aerenkima oluşumu programlanmış hücre ölümü (PHÖ) ile tetiklenmektedir (Drew vd., 2000; Wany vd., 2017). Nitrik oksit (NO) birikiminin programlanmış hücre ölümünü etkileyerek aerenkima oluşumunu arttırdığı belirlenmiştir (Wany vd., 2017). NO ayrıca stoma düzenlenmesi, çiçeklenmenin kontrolü ve stres faktörlerine dayanıklılık gibi birçok işlevde rol almaktadır (Aras, 2022a,b). Khan vd. (2019), soya fasulyesinde NO birikiminin artırılması sonucunda sel baskınına dayanıklılığının arttığını bildirmiştir.

Yozgat ilimizde de son zamanlarda sel baskını yaşanmakta olup otsu bitkilerde kayıplara sebep olmuştur. Çilek bitkisi sel baskınından etkilenmekte olup bazı uygulamalarla dayanıklılığının artırılması gerekmektedir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda bitkilerde nitrik oksit birikimi ile köklerde aerenkima oluşumu artmakta olup hava depolanarak sel baskınına toleransın artabildiği gösterilmiştir. Fakat sınırlı sayıda çalışma mevcut olup çilek gibi ekonomik öneme sahip bir bitkide çalışılmamıştır. Ayrıca yapılan çalışmaların çoğu özellikle köklerdeki aerenkima oluşumunu incelemiş olup yapraklardaki aerenkima oluşumu ile beraber değerlendirilmemiştir. Yaptığımız bu çalışmada bitkilerde nitrik oksit birikimini artıran sodyum nitroprussid'i sel baskınına maruz bırakılan çilek bitkisine uygulanmıştır. Son zamanlarda stres faktörlerine karşı SNP uygulamaları büyük bir önem kazanmıştır. Fakat sel baskını stresine karşı etkilerini belirlemek üzere çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Bu sebeple SNP uygulaması büyük bir önem arz etmektedir. Sonuçlar morfolojik, fizyolojik ve histolojik düzeyde incelenmiştir. Bu konu üzerinde henüz bir yayın bulunmamaktadır. Bu sebeple bu çalışma ile elde edilen sonuçlar hem ilimizde, hem ülkemizde hem de dünyada sel baskını yaşanan bölgelerde çilek yetiştiriciliğine katkı sağlayacak ve dünya literatürlerine bu bilgilerin ilk defa girmesi sağlanmış olacaktır.



2.GENEL BİLGİLER

Sel baskınına dayanıklılık üzerine birçok çalışma mevcuttur, yapılan çalışmalar türlerin ve çeşitlerin dayanıklılığının belirlenmesi ya da farklı uygulamalar ile dayanıklılığın artırılması üzerine yapılmıştır. SNP uygulamasının sel baskınına karşı etkilerinin belirlenmesi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır.

Jaiswal ve Srivastava (2018)' in yapmış oldukları bir çalışmada saksıda yetiştirilen yirmi günlük HUZM-265 (sel baskınına dirençli) ve HUZM-55 (sel baskınına karşı duyarlı) iki mısır genotipinin fidelerine; NO donörü olarak kullanılan sodyum nitroprussid (SNP) 50, 500 ve 2000 $\mu\text{mol/L}$ olmak üzere üç farklı dozda verilmiş ve daha sonra sel baskınına maruz bırakılmıştır. Enzim ve enzimatik olmayan reaktif oksijen türleri (ROS) temizleyicilerin seviyeleri, sel baskınından 9, 12, 15, 18 ve 21 saat sonra terminal kök kısımlarında ölçülmüş ve suya doymuş bitkilerde katalaz (CAT), peroksidaz (POX), süperoksit dismutaz (SOD), askorbat peroksidaz (APX) ve alkol dehidrojenaz (ADH) düzeylerinde önemli bir artış olduğunu ve bu artışın dirençli genotiplerde daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Sel baskınından sonra, çalışılan enzimlerin ve enzim olmayanların seviyelerinde zamanla farklı bir değişim modeli ortaya çıktığı tespit edilmiştir. ADH, CAT ve APX'in, ROS' u erken aşamada temizlenmesinde önemli bir rol oynadığını, POX ve SOD' un ise sel baskını stresinin sonraki aşamalarında önemli bir rol oynadığını bildirmişlerdir.

Fani vd. (2014)'nin yaptıkları bir çalışmada nitrik oksit (NO) donörü olan eksojen sodyum nitroprussidin (SNP), sel baskını stresi altında hıyar (*Cucumis sativus* L. cv. Jinyou No.1) fidelerinin büyümesi ve hıyar yapraklarındaki antioksidan enzim aktiviteleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Denemede kullanılan bitkiler sel baskınına maruz bırakıldığında, hıyar fidelerinin büyümesinin önemli ölçüde engellendiği görülmüş, ancak SNP ile bu tür stresten kaynaklanan büyümenin engellenmesini önemli ölçüde hafiflettiğini ve su altında kalan bitkilerin boyu, taze ve kuru ağırlıklarındaki artışa olumlu etkisi olduğunu tespit etmişlerdir. Sel baskını ayrıca antioksidan enzimlerin (süperoksit dismutaz (SOD), (POD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX)) aktivasyonuna, klorofil içeriğinin azalmasına, MDA ve proteinin bitki bünyesinde birikmesine neden olduğu bulunmuştur. Ayrıca SNP uygulamasının antioksidan enzim aktivitelerini daha da güçlendirdiğini, klorofil ve protein içeriğini koruduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, MDA içeriğini azalttığı ve böylece NO, bitkileri

oksidatif hasardan koruduğu ve yapraklardaki antioksidan enzimleri membran hasarını hafifletmeye yetecek ölçüde aktive ederek büyümeyi desteklediğini tespit etmişler.

Mfarrej vd. (2021), sel baskını etkilerini azaltmak için ekzojen NO ve H₂S'nin etkinliğini araştırmışlardır. Sel baskınının iki buğday çeşidinde (Galaxy-2013 ve FSD-2008) bitki büyümesi, verim, klorofil, çözünebilir şekerler ve serbest amino asitle seviyelerinde gözle görülür bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sel baskınının, daha yüksek hücresel TBARS ve H₂O₂ içeriği olarak görülen ciddi oksidatif hasarı tetiklediği ve Fe²⁺ ve Mn²⁺ içeriğindeki belirgin artışla birlikte antioksidan enzim aktivitesini de arttırdığı görülmüştür. Sel baskını yaşayan bitkilerde prolin içeriği, sel baskınına uğramamış bitkilere göre daha yüksek olduğunu, ayrıca sel baskını temel besin maddelerinin (K⁺, Ca²⁺ ve Mg²⁺) endojen seviyelerinde önemli bir düşüşe de neden olduğunu tespit edilmiştir. Sel baskının meydana geldiği toprakta Fe³⁺ ve Mn³⁺ 'nın hızla azalması nedeniyle Fe²⁺ ve Mn²⁺ toksisitesine yol açtığını görülmüştür. Ekzojen NO ve H₂S, oksidatif savunmayı güçlendirerek ve beslenme durumunu düzenleyerek bitkileri sel baskını zararının etkilerinden önemli ölçüde koruduğunu ve ayrıca ekzojen NO'nun koruyucu etkilerinin H₂S'nin etkilerine göre daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

Jaiswal vd. (2016) yaptıkları çalışmada HUZM-265 (sel baskınına dirençli) ve HUZM-55 (sel baskınına duyarlı) gibi iki mısır genotipinin, saksıda yetiştirilen yirmi günlük fidelerine 50, 500 ve 2000 µmol/L olmak üzere üç farklı dozda sodyum nitroprussid (SNP) uygulanmış ve bitkilerin kök bölgesi sel baskınına tabi tutulmuştur. Su basmasından 0, 1, 3, 5 ve 7 gün sonra fidelerin kök kısımlarında NO donörü olarak; reaktif oksijen temizleyici enzimlerin ve enzim olmayanların seviyeleri ölçülmüştür. Dirençli genotipteki suya doymuş bitkilerde reaktif oksijen türleri (ROS) temizleyici enzimlerin seviyelerinde önemli bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Suyu doymuş bitkilerde askorbik asit ve fenol seviyeleri azalmakla birlikte sel baskınına maruz kalan bitkilerin kök bölgesi çözeltisinin SNP ile desteklenmesinin, nispeten düşük konsantrasyonda (50 µmol/l) ROS temizleyici enzimlerin aktivitelerinin iyileştirilmesinde etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan; NO sel baskını stresine karşı toleransı arttırmada etkin rol oynadığını belirlemişlerdir.

Wang vd. (2011)'in yapmış oldukları çalışmada NO donörü olan sodyum nitroprussidin (SNP) sel baskını stresi altındaki mısırın hem morfolojik hem de fizyolojik özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, SNP'nin bitki boyu, kuru ağırlığı ve katalaz, peroksidaz ve süperoksit dismutaz aktivitelerini artırabildiği ve sel baskını stresi altında MDA içeriğini ve iyon sızıntı oranını azaltabildiği sonucuna varılmıştır.

Jaiswal vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada 28 mısır genotipinden (kendilenmiş hatlar) (*Zea mays* L.), bir sel baskınına dayanıklı (HUZM-265) ve bir duyarlı (HUZM-55) hat seçilmiş ve erken dönemde sel baskını stresi uygulanarak, sel baskını tolerans katsayısı (WTC) temelinde tanımlanmıştır ve seçilen genotipler saksılarda büyütülmüştür. 20 gün sonra bitkilerin bir kısmına 50, 500 ve 2000 $\mu\text{mol/L}$ olmak üzere üç farklı dozda SNP içeren karışımlar, bitkilerin kök bölgesine uygulanmış ve daha sonra sel baskınına tabi tutulmuştur. Sel baskını her iki genotipte de yaprak sayısında, yaprak alanında ve bitkilerin kuru ağırlığında azalmaya neden olduğu görülmüştür. Sel baskınına uğramış bitkilerin köklerinde hücre zarı hasarı HUZM-55 genotipinde HUZM-265'e göre daha yüksek olduğu ve 500 $\mu\text{mol/L}$ SNP'nin bununla mücadelede hafifletici role sahip olduğu tespit edilmiştir. 500 $\mu\text{mol/L}$ SNP her iki genotipte de terleme hızı, klorofil içeriği ve nitrojen içeriğini hafifletmede etkili olduğu belirlenmiştir. 50 ve 2000 $\mu\text{mol/L}$ SNP dozlarının sırasıyla HUZM-265 ve HUZM-55'te stoma iletkenliğini arttırdığını ayrıca SNP' nin mısırdaki sel baskınının zararlı etkisini azalttığını tespit etmişlerdir.

Zhang (2022)' in yapmış oldukları bir çalışmada nitrik oksidin (NO) pamuk (*Gossypium hirsutum* L.) bitkisinde sel baskını hasarını hafiflettiği, ancak NO'nun sel baskınının giderilmesinden sonra telafi edici büyümeyi artırıp artıramayacağı konusu tam anlamıyla tespit edilemediği için, pamuk bitkileri 10 günlük sel baskını stres uygulamasına tabi tutulmuş ve sel baskını sırasında bir NO donörü olan sodyum nitroprussidin (SNP) yapraklara püskürtülmesinin etkileri araştırılmıştır. Bitki dokularındaki NO konsantrasyonları, bitki biyokütlesi ve sel baskını sonrası 10 günlük dönemde ilgili fizyolojik olayların yanı sıra hasat sırasındaki tohumlu pamuk verimi ve verim bileşenleri, birbirini takip eden iki yıl boyunca ölçülmüştür. Sel baskınına uğramayan ve sel baskınına maruz kalan pamuk bitkisinde, stresin hafifletildiği güne kıyasla, sel baskını sonrası iyileşmeden 10 gün sonra bitki biokütlesinde sırasıyla %38.5 ve %48,3 artış sergilediği görülmüştür. Bu durumun stresin hafifletilmesinin ardından

önemli telafi edici büyümenin meydana geldiği kanısına varılmıştır. Sel baskını sırasında pamuğun SNP ile yaprağa püskürtülmesi, yalnızca stres giderilmeden önce NO konsantrasyonunu (%40-183) arttırmakla kalmadığını aynı zamanda kontrol grubuna kıyasla stres giderildikten sonra NO konsantrasyonunu (%30-75) arttırdığını tespit edilmiştir. NO konsantrasyonu arttıkça, sel baskınından 10 gün sonra bitki biokütlesinin yanı sıra biyolojik verim, koza yoğunluğu ve hasat sırasında sel baskınına uğramış pamuğun tohumluk pamuk verimi sırasıyla %54,4, %8,0, %7,5 ve %7,6 oranında arttığı belirlenmiştir. SNP püskürtme uygulaması, kontrol ile karşılaştırıldığında, NO'nun telafi edici büyümeyi desteklediğini ve sel altındaki pamuklarda verim kaybını azalttığı tespit edilmiştir.

Khan vd. (2019)'nin yapmış oldukları çalışmada soya fasulyesini (*Glycine max* L.) kısa süreli sel baskınına maruz bırakarak, bitki büyümesini ve üretkenliğini engelleyen hipoksik koşullar meydana getirilmiştir. Yapılan çalışmanın sonunda, Pungsannamul soya fasulyesinde eksojen SNP ve CysNO'nun guttasyon aktivitesini tetiklediğini ve kısa süreli sel baskını sırasında ortaya çıkan süperoksit anyon içeriğini azalttığı belirlenmiştir. Exo-SNP ve CysNO, endojen S-nitrozotiyollerini tetiklediğini ve her iki soya fasulyesi çeşidinde zaman içinde absisik asit (ABA) içeriğinin artmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Soya fasulyesindeki kısa süreli sel baskını stresinin olumsuz etkilerini azaltabilecek yönde etki meydana getirdiği sonucuna varılmıştır.

Pan vd. (2022)'nin yürüttükleri çalışmada pamuk köklerinin sel baskınına tepkisini incelemek amacıyla hipoksiye toleranslı genotip (Cx094) ve hipoksiye duyarlı genotip (Wang18) kullanılmıştır. İki çeşidin bitkilerine üç farklı yöntemle uygulama yapılmıştır: Uygulama 1 olarak saksılara sel baskını (sel baskını), Uygulama 2 olarak agar çözeltisi ile düşük oksijen (sel baskını + agar) ve Uygulama 3 olarak agar çözeltisi ve nitrojen gazı ile hipoksi (sel baskını + agar + N₂). Yapılan işlemlerin sonuçlarına göre ise, Cx094'te en yüksek aerenkima oranı Uygulama 2'de bulunmuş, Wang18'de buna karşılık gelen aerenkima oluşumunun bulunmadığı sonucu elde edilmiştir. Pamuk bitkilerinde aerenkima oluşumunu kontrol etmek için Uygulama 2'de daha ileri düzeyde çalışmalar yapılmış ve sonuçlar, aerenkimanın yalnızca hipoksiye toleranslı genotiplerde oluştuğunu göstermiş; bu, sel baskınına toleranslı genotiplerde aerenkima oluşumunun önemli rolünü doğruladığını tespit etmişlerdir. Eksojen etilen inhibitörü, Cx094'te aerenkima oluşumunu azaltırken, bir etilen öncüsü olan ethephon, Wang18'de

aerenkima oluşumunu teşvik ettiği, bu da etilenin pamukta aerenkima oluşumundaki önemli rolünü ortaya çıkardığı sonucuna varılmıştır.

Pimentel vd. (2014)'nin yaptıkları bir çalışmada hipoksiye dayanıklı kabul edilen *Prunus* türlerinin, hipoksi koşulları altındaki tepkilerini ve adaptasyonlarını değerlendirmek amaçlanmıştır. Kullanılan *Prunus* anaçları, 'Mariana 2624' (*Prunus cerasifera* × *Prunus munsoniana* W. Wight ve Hedrick), 'Cab6P' (*Prunus cerasus* L.), 'Colt' (*Prunus avium* (L.) L. × *Prunus pseu-docerasus* Lindl.), 'Maxma 14' (*Prunus mahaleb* L. × *Prunus avium*), 'Maxma 60' (*Prunus mahaleb* × *Prunus avium*), 'Garnem' (G × N15) (*Prunus dulcis* (Mill.) Rechb. × (*Prunus persica* (L.) Batsch × *Prunus davidiana* (Carrière) NEBr.)) ve 'Mazzard F12/1' (*Prunus avium*) 14 gün boyunca sel baskınına maruz bırakılmış, fizyolojik ve morfolojik tepkiler değerlendirilmiştir. Suyla dolu toprakta hassas genotiplerde şiddetli yaprak hasarı, erken bitki ölümü, fotosentez oranında (A) ve stoma iletkenliğinde (gs) azalma ve daha yüksek malondialdehit (MDA) konsantrasyonu olduğunu tespit edilmiştir. Ancak toleranslı olanlarda gaz değişim parametreleri ve MDA konsantrasyonu bu durumdan etkilenmemiş ve buna ek olarak, suya doymuş bitkiler altındaki toleranslı genotiplerde gövde üzerinde hipertrofi gelişimi, adventif kökler ve aerenkima oluşumu tespit edilmiştir. Mariana 2624 (toleranslı) ve Mazzard F12/1 (hassas), bu morfo-anatomik değişikliklerin, sel baskınının neden olduğu O₂ yoksunluğu sırasında toleranslı *Prunus* genotipinin hayatta kalmasında anahtar rol oynayacağına karar verilmiştir.

3.GEREÇ ve YÖNTEM

Bu çalışma 2023 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Ziraat Fakültesi Uygulama Serasında yürütülmüştür.

3.1.Deneme Materyali ve Planı

Denemede frigo Albion çilek çeşidi kullanılmıştır. Deneme 3 tekerrürlü ve her tekerrürde 10 fide bulunacak şekilde kurulmuştur. Fideler içinde torf ve perlit (4:1 oranında) bulunan 5 L hacimli saksılara dikilmiştir. Fide dikiminde itibaren ilk 1 ay boyunca tüm bitkilere bütün elementlerin (makro ve mikro elementler) bulunduğu Hoagland gübresi takviye edilmiştir. Hoagland solüsyon içeriği: 5 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 5 mM KNO_3 , 2 mM MgSO_4 , 1 mM KH_2PO_4 , 25 μM H_3BO_3 ; 2 μM MnSO_4 ; 2 μM ZnSO_4 ; 0.5 μM CuSO_4 ; 0.4 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ve 40 μM Fe-ethylenediamine-di-o-hydroxy-phenylacetic acid (Fe-EDDHA) (Hoagland ve Arnon, 1950). Bitkilerin dikiminden 1 ay sonra 100 μM dozundaki SNP çözeltisi bitkilere uygulanmış ve bu uygulamadan sonra bitkiler sel baskınına maruz bırakılmıştır. 100 μM dozundaki SNP çilek bitkisinde olumlu etkileri olduğu bildirilmiş olup çalışmamızda bu doz kullanılmıştır (Christou vd., 2014). Uygulamaya ilk olarak SNP ile başlanılmış olup bitkilerin kök bölgesine (rizosfer) 250 ml hacminde 100 μM SNP verilmiş ve 2 saat sonra sel baskını uygulamasına başlanılmıştır. Sel baskını 1 ve 2 gün olmak üzere 2 farklı sürede uygulanarak SNP' nin etkinliği değerlendirilmiştir. Sel baskını stresi bitkilerin dikili olduğu saksıların su dolu kovalara konularak suyun toprağın 2 cm üzerinde olması sağlanarak uygulanmıştır. Fidelerin bakım işleri ve zirai mücadelesi genel yetiştiricilik prensiplerine göre yapılmıştır. Deneme deseni aşağıdaki gibi yapılmıştır:

Kontrol Grubu (hem sel baskını hem de SNP uygulanmayan bitkiler)

SNP Grubu (100 μM SNP uygulanan bitkiler)

1 gün sel baskını uygulanan grup

1 gün sel baskını uygulanan grup + 100 μM SNP

2 gün sel baskını uygulanan grup

2 gün sel baskını uygulanan grup + 100 μM SNP

Çalışmanın kurulması ve sel baskını stresinin saksılarda uygulanması Şekil 3.2' de gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Dikim toprağının hazırlanması (A), seranın ilaçlanması (B), fidelerin saksılara dikilip seraya yerleştirilmesi (C) ve sel baskını stresinin uygulanması (D)

Sel baskını uygulamasına başladıktan 2 ay sonra bitkilerde iyileşme döneminde (recovery) incelemeler yapılmıştır. Çalışmada meyve örnekleri de incelendiği için sezon sonuna kadar çalışmaya devam edilmiş ve meyve derimleri gerçekleştirilerek aşağıdaki ölçümler yapılmıştır:

3.2.Uygulamaların Bitki Fizyolojisi Üzerine Etkileri:

Toplam Klorofil Belirlenmesi

Toplam klorofil miktarının belirlenmesi için, 0.5 g taze yaprak örnekleri 10 ml %80' lik asetonunda ezilecek ve 25°C' de karanlıkta 24 saat bekletilmiştir. Spektrofotometrede ölçüm yapılmadan önce örnekler filtreden geçirilerek ve absorbans 470, 645 ve 663 nm dalga boylarında okutularak ve aşağıdaki formülle hesaplanmıştır (Corte Real vd., 2017):

$$\text{Chl a } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 12.25 \cdot A_{663} - 2.55 \cdot A_{646}$$

$$\text{Chl b } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 20.31 \cdot A_{646} - 4.91 \cdot A_{663}$$

$$\text{Chl a+b } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 17.76 \cdot A_{646} + 7.34 \cdot A_{663}$$

Klorofil Öncül Maddelerin Miktarının Belirlenmesi

Klorofil öncülleri (precursors) olan protoporphyrin IX (Proto IX), Mg-protoporphyrin IX (Mg-Proto IX), ve protochlorophyllide (Pchlde) miktarları Hodgins ve Van Huystee (1986)' nun metoduyla spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Taze yaprak örnekleri (0.3 g) 5 ml %80' lik alkalin asetonunda homojenize edilecek ve %80' lik alkalin aseton ile 25 ml' ye tamamlanmıştır. Homojenat doku beyazlayana dek karanlıkta bekletilmiştir. Daha sonra 1500 g' de 10 dk santrifüj yapılmıştır. Absorbans 575, 590 ve 628 nm dalga boylarında okutulup klorofil öncülleri hesaplanmıştır (Liu vd., 2015).

3.3.Uygulamaların Yaprak Histolojisine Etkileri:

Fidelerde histolojik değerlendirmeler için yaprak sapları FAA (Formalin: asetik asit: etanol) içinde saklanarak ve sapların enine kesitleri Toluidin Blue O (korteks hücreleri için) ve asit floroglusin (ksilem için) boyaları ile ayrı bir şekilde boyanmıştır. Boyandıktan sonra lam üzerine yerleştirilen örnekler ışık mikroskobu (Olympus CX21) ile dijital kameraya (Kameram 5) bağlı olarak görüntülenmiştir. Yaprak saplarının korteksi ve ksilemi incelenmiştir. Hücre genişlemesi korteks hücre çapı adına açıklanmıştır (O'Brien vd., 1964; Aras vd., 2021). Ayrıca köklerdeki aerenkima hava boşlukları da kök kesitlerinde incelenmiştir. Yapraklardaki sünger parankiması da

0.125%’lik hematoxylin boyası kullanılarak incelenmiştir (Karabıyık, 2024). Kesitler rotary microtome (Leica RM2135, Leica, Wetzlar, Germany) ile 10µ kalınlığında kesilerek incelenmiştir.

3.4.Sel Baskımına Tolerans İndeksinin Belirlenmesi

Sel baskımına tolerans indeksi aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır (Schmitz-Eiberger vd., 2002; Barman vd., 2017):

Büyüme oranının tolerans indeksi = (stres ve/veya SNP uygulanan bitkilerin büyüme oranı / kontrol bitkilerinin büyüme oranı)*100,

Klorofil a+b’ nin tolerans indeksi = (stres ve/veya SNP uygulanan bitkilerin klorofil miktarı / kontrol bitkilerinin klorofil miktarı)*100

3.5.Uygulamaların Meyve Pomolojisi Üzerine Etkileri

Meyve ağırlığı 0.1g hassasiyetli dijital terazi ile, meyve boyutları (en ve boy) dijital kumpas ve suda çözünebilir kuru madde (SÇKM) dijital refraktometre ile ölçüm yapılmıştır. Meyve rengi renk ölçer cihazı ile belirlenmiştir.

3.6.İyileşme İncelenmesi (Recovery)

İyileşme süreci stres uygulandıktan 1 ay sonra gerçekleştirilmiş olup bitkilerin morfolojik gelişimleri değerlendirilmiştir.

Büyüme Oranı

Bitki ağırlığı esas alınarak hesaplanacaktır. İlk ve son bitki ağırlıkları hassas terazi yardımıyla tartılarak aşağıda belirtilen formül modifiye edilerek hesaplanmıştır (Del Amor ve Marcelis, 2003):

$$BO = 100 \times [(\ln X_{t2} - \ln X_{t1}) / (t_2 - t_1)]$$

BO=Büyüme Oranı, t_2 = çalışmanın sonlandığı gün, t_1 = çalışmanın başladığı gün, X_{t2} = bitkinin son ağırlığı, X_{t1} = bitkinin ilk ağırlığı.

Kuru Kök/Kuru Sürgün Oranı

Kök ve sürgünlerin yaş ağırlıkları hassas terazi yardımıyla belirlendikten sonra, kök ve sürgünler etüvde 70°C'de 48-72 saat kurutulup sonra hassas terazi ile ağırlıkları ölçülecek ve kuru kök ağırlığı kuru sürgün ağırlığına bölünerek hesaplanmıştır.

3.7. İstatistiksel Analiz

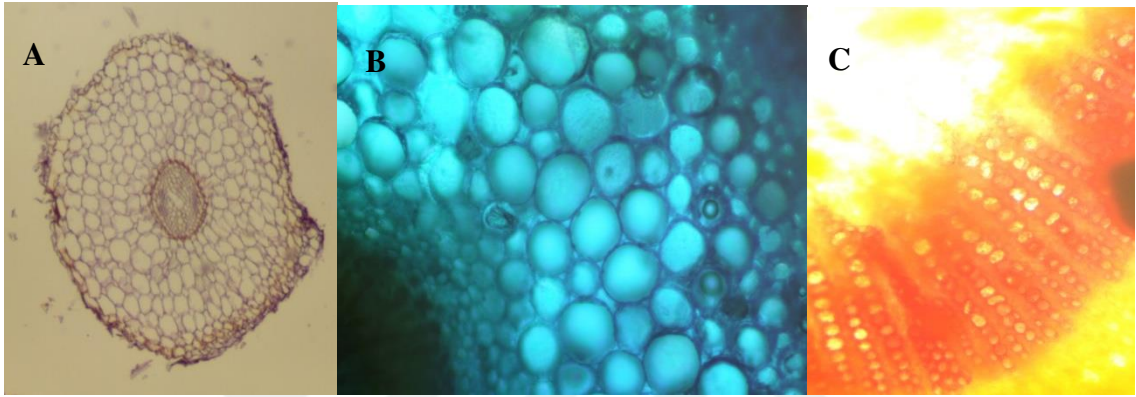
İstatistik analizler SPSS 20.0 istatistik programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler Duncan testi ile %5' lik önem seviyesinde değerlendirilmiş olup çalışmada kurulan deneme deseni Şekil 3.3.'de verilmiştir.

Kontrol			SNP Uygulaması			1 Günlük Sel Baskını			1 Günlük Sel Baskını + SNP Uygulaması			2 Günlük Sel Baskını			2 Günlük Sel Baskını + SNP Uygulaması		
1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür

Şekil 3.3. Deneme deseni

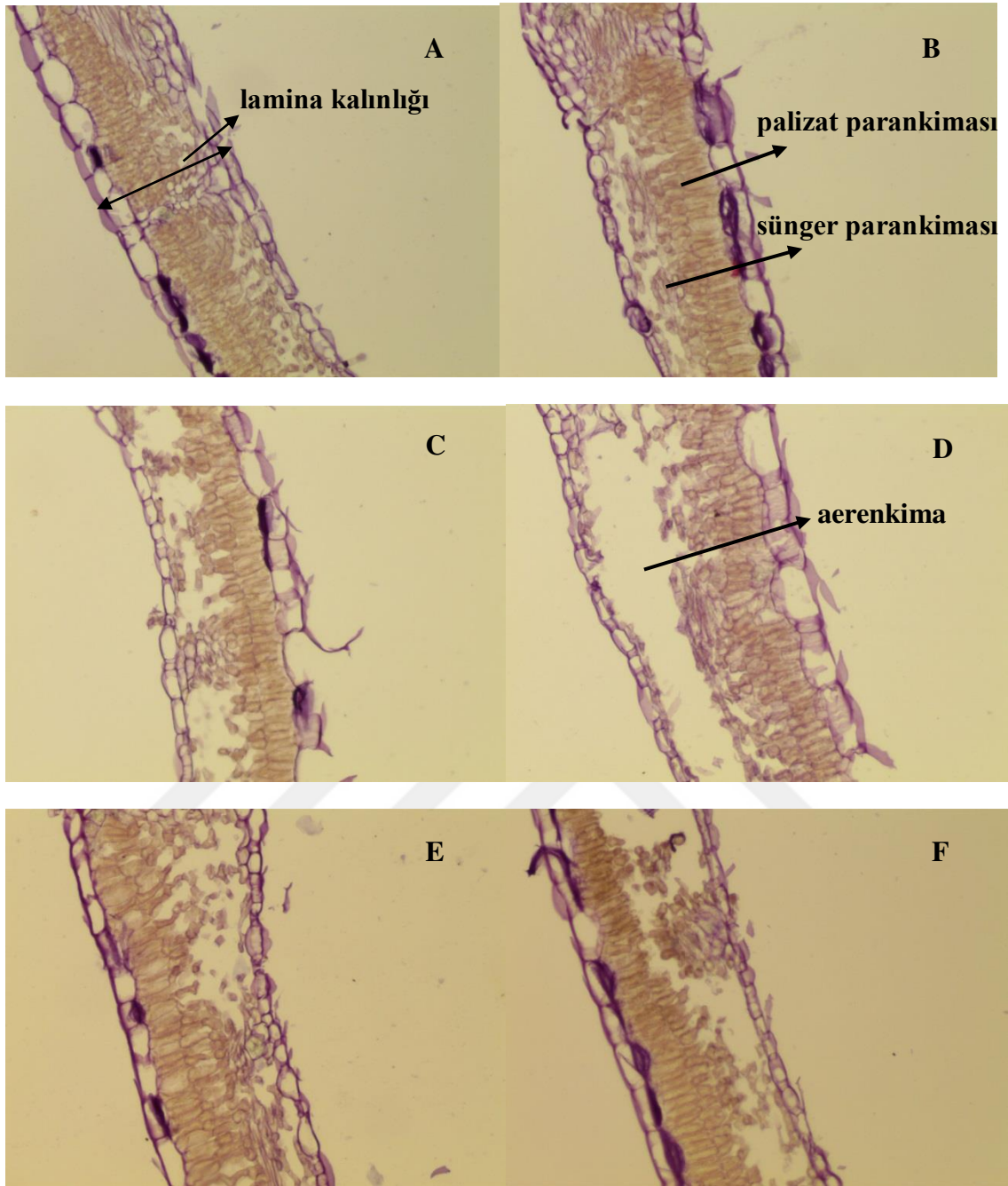
4.BULGULAR

Sel baskını ve SNP uygulamaları çilek büyümesini, fizyolojisini ve anatomisini önemli ölçüde etkilemiştir. Köklerde ve orta damarda aerenkima oluşumu incelenmiştir (Şekil 4.3). Kök korteksinde hava boşluğuna rastlanılmamıştır (Şekil 4.3.A). Yaprakların enine kesitleri incelendiğinde ise, korteks hücrelerinin büyüklüğü artıp hücreler arası boşlukları (apoplast) genişlemiştir (Şekil 4.3.B). Ayrıca yaprak kesidindeki ksilem iletim demetleri de görüntülenmiştir (Şekil 4.3.C).



Şekil 4.3. Kök ve yaprak kesitlerin genel görünümü; kök (A), korteks hücreler (B) ve yapraktaki ksilem demetleri (C)

Yaprak laminasında (yaprağın enine kesidi) daha büyük hücrelerden oluşan bir üst epidermis ve daha küçük hücrelerden oluşan bir alt epidermis içeren tipik bir anatomi sergilenmiştir. Yaprağın mezofil kısmında (orta kısım), palizat ve sünger parankimasi bulunmaktadır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Kesit lamina görüntüleri, A-Kontrol, B-SNP, C-1 günlük sel baskını, D-1 günlük sel baskını +SNP, E-2 günlük sel baskını, F-2 günlük sel baskını + SNP

Yaprak lamina kalınlığı SNP uygulaması ve sel baskını koşulları altında artmıştır ve en yüksek artış 1 günlük sel baskını+SNP uygulaması sonucunda elde edilmiştir (Tablo 4.3.). Palizat parankiması, iki sıralı uzun hücreden oluşmuştur. Buna karşılık sünger parankiması, hücreleri düzensiz şekillerden oluşmuştur, geniş hücreler arası boşluklar meydana gelmiştir ve çeşitli boyutlarda iletim demetleri barındırmaktadır (Şekil 4.4.). Sünger hücre alanı SNP uygulamasıyla artmış ve sel baskını koşullarıyla azalmıştır. Sünger parankimasındaki gaz depolama alanı uygulamalardan etkilenmiştir (Şekil 4.4.).

SNP uygulaması gaz boşluklarını kontrole kıyasla %82 oranında artırmıştır (Tablo 4.3.). Sünger parankimasındaki gaz boşluklarında en yüksek artış, 1 günlük sel baskını + SNP uygulamasında gözlenmiştir (kontrol ile karşılaştırıldığında yaklaşık 3 kat artış).

Tablo 4.3. Sel baskını koşullarında çilekte SNP'nin lamina kalınlığı, sünger hücre alanı ve yaprak aerenkima yüzdesi üzerine etkileri

Uygulamalar	Lamina kalınlığı (μm)	Sünger hücre alanı (μm^2)	Yaprak aerenkima yüzdesi (%)
Kontrol	183.2 d	170.5 ab	7.96 d
SNP	192.7 c	198.0 a	14.51 c
1 günlük sel baskını	200.4 b	143.3 bc	16.41 bc
1 günlük sel baskını+SNP	231.0 a	118.0 c	22.63 a
2 günlük sel baskını	203.0 b	146.0 bc	17.12 b
2 günlük sel baskını+SNP	201.6 b	131.6 c	18.25 b

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

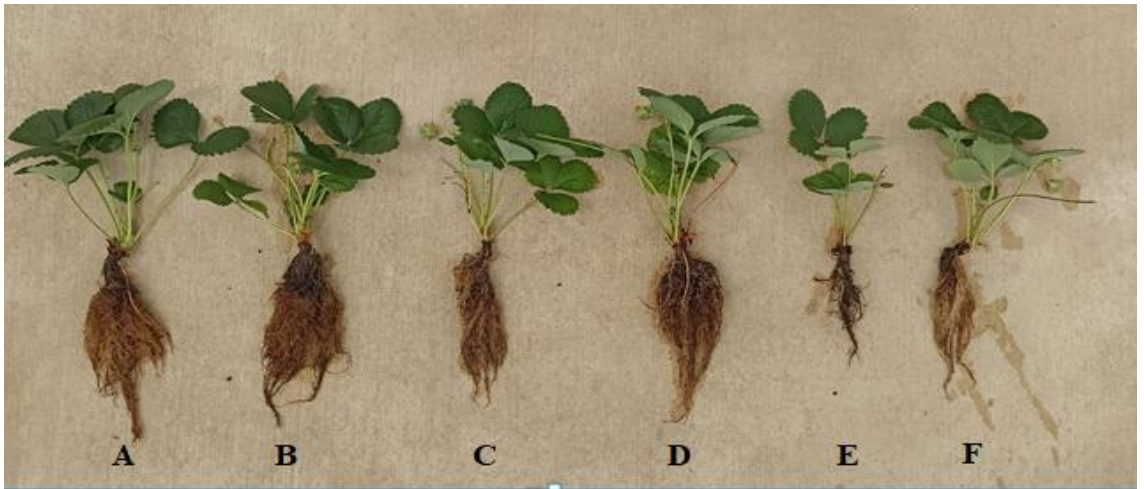
SNP ve sel baskını koşulları korteks hücreleri ve ksilem özelliklerini önemli düzeyde etkilemiştir (Tablo 4.4). SNP hücre genişlemesini artırmıştır. SNP uygulamasında kontrole göre %15 oranında hücre boyutunda artış elde edilmiştir. 1 günlük sel baskını hücre boyutunu azaltmıştır ve diğer uygulamalar kontrole kıyasla benzer değere sahip olmuştur. SNP uygulaması ksilem çapını kontrole kıyasla %29 artırmıştır. Her iki sel baskını ksilem çapını azaltmıştır ve SNP uygulaması, sel baskını altında ksilem çapını geliştirmiştir (Tablo 4.4).

Tablo 4.4. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte korteks hücre çapı (μm) ve ksilem çapına (μm) etkileri

Uygulamalar	Korteks hücre çapı (μm)	Ksilem çapı (μm)
Kontrol	72.2 b	15.6 bc
SNP	82.9 a	20.1 a
1 günlük sel baskını	58.6 c	14.5 c
1 günlük sel baskını+SNP	71.5 b	15.2 bc
2 günlük sel baskını	71.3 b	14.5 c
2 günlük sel baskını+SNP	72.7 b	16.9 b

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Bitki büyümesi uygulamalardan önemli ölçüde etkilenmiştir (Şekil 4.5.). 1 ve 2 gün sel baskını koşulları kuru kök/ sürgün oranı ve büyüme oranını azaltmıştır ve SNP uygulaması ise parametreleri iyileştirmiştir (Tablo 4.5). Çalışmada, klorofil biyosentezi değerlendirilmiştir. SNP uygulaması hem stresli hem de stressiz koşullar altında klorofil *a*, *b* ve *a+b* konsantrasyonlarını arttırmıştır (Tablo 4.6). En yüksek klorofil kaybı 2 günlük sel baskını koşullarında bulunmuştur. Proto IX ve Mg-Proto IX dahil olmak üzere klorofil öncüleri sel baskını koşulları altında artmıştır, ancak Pchlide 2 günlük sel baskını bitkilerde azalmıştır (Tablo 4.7). İki günlük sel baskını stresi, özellikle Pchlide adımı klorofil biyosentezini engellemiştir.



Şekil 4.5. Uygulamaların bitki büyümesi üzerine etkileri; A-Kontrol, B-SNP, C- 1 gün sel baskını, D- 1 gün sel baskını+SNP, E- 2 gün sel baskını, F- 2 gün sel baskını+SNP

Tablo 4.5. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte kuru kök/ sürgün oranı ve büyüme oranı konsantrasyonlarına etkisi

Uygulamalar	Kuru Kök/ Sürgün	Büyüme Oranı
Kontrol	1.0394 ab	7.511 ab
SNP	1.6780 a	7.880 a
1 günlük sel baskını	0.6108 b	7.129 bc
1 günlük sel baskını+SNP	1.0058 ab	7.945 a
2 günlük sel baskını	0.6087 b	6.826 c
2 günlük sel baskını+SNP	1.1544 ab	7.523 ab

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Tablo 4.6. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte klorofil *a*, *b* ve *a+b* konsantrasyonlarına etkileri

Uygulamalar	Klorofil <i>a</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Klorofil <i>b</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Klorofil <i>a+b</i> ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Kontrol	20.7 ab	5.2 ab	25.9 ab
SNP	22.8 a	5.9 a	28.7 a
1 günlük sel baskını	20.3 b	4.6 bc	24.9 b
1 günlük sel baskını+SNP	19.2 bc	4.6 bc	23.8 bc
2 günlük sel baskını	15.3 d	3.3 d	18.6 d
2 günlük sel baskını+SNP	17.4 cd	3.7 cd	21.1 cd

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Tablo 4.7. SNP'nin sel baskını koşulları altında çilekte Proto IX, Mg-Proto IX ve Pchlide konsantrasyonlarına etkileri

Uygulamalar	Proto IX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Mg-Proto IX ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Pchlide ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Kontrol	0.0903 c	0.0527	0.0385 bc
SNP	0.1314 bc	0.0691	0.0453 ab
1 günlük sel baskını	0.2065 a	0.0938	0.0485 a
1 günlük sel baskını+SNP	0.2156 a	0.0909	0.0445 ab
2 günlük sel baskını	0.1702 ab	0.0704	0.0323 c
2 günlük sel baskını+SNP	0.1490 b	0.0676	0.0364 bc

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Büyüme oranı tolerans indeksi incelendiğinde, en düşük değerler 1 ve 2 günlük sel baskını uygulanmış bitkilerde görülmüştür (Tablo 4.8). SNP uygulaması her iki sel baskını stresinde de bu değeri yükseltmiştir. Klorofil tolerans indeksine bakıldığında, 2 günlük sel baskını stresi altında oldukça düşmüş olup SNP uygulaması sonucunda bu değer yükselmiştir. Bu iki parametre bitkilerin sel baskınına karşı toleransını sergilemekte olup SNP uygulamasının toleransı arttırdığını göstermektedir.

Tablo 4.8. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte büyüme oranı tolerans indeksi ve klorofil tolerans indeksi üzerine etkileri

Uygulamalar	Büyüme oranı tolerans indeksi	Klorofil tolerans indeksi
SNP	104.9 a	111.4 a
1 günlük sel baskını	90.5 b	86.5 bc
1 günlük sel baskını+SNP	111.6 a	96.2 b
2 günlük sel baskını	85.9 b	78.5 c
2 günlük sel baskını+SNP	110.3 a	113.4 a

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Pomolojik özellikler sel baskını ve SNP uygulamalarından önemli ölçüde etkilenmiştir (Tablo 4.9 ve Tablo 4.10). SNP meyve ağırlığını kontrole göre %8 arttırmıştır. Meyve ağırlığındaki en yüksek düşüş, kontrole göre %35 oranında 2 günlük sel baskını koşullarında bulunmuştur. Genişlik ve uzunluk olarak meyve büyüklüğü sel baskını uygulanmış bitkilerde azalmış ve SNP uygulaması stres altındaki bitkilerde meyve büyüklüğünü artırmıştır. SÇKM incelendiğinde ise, hem 2 günlük sel baskını hem de SNP uygulamaları kontrol grubuna göre artırmıştır. SNP uygulaması meyve kırmızılığını arttırmış ve sel baskını bitkilerde bu değeri azaltmıştır.

Tablo 4.9. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte meyve ağırlığı, eni ve boyu üzerine etkisi

Uygulamalar	Meyve ağırlığı (g)	Meyve eni (mm)	Meyve boyu (mm)
Kontrol	8.66 ab	33.45 a	25.24 ab
SNP	9.37 a	33.80 a	26.36 a
1 günlük sel baskını	7.05 ac	27.00 b	25.21 ab
1 günlük sel baskını+SNP	8.10 ac	27.14 b	24.94 ab
2 günlük sel baskını	5.60 c	24.81 b	22.92 c
2 günlük sel baskını+SNP	6.39 bc	24.75 b	23.45 bc

* : Aynı sütunda farklı harflerle ifade edilen ortalamalar arasında Duncan çoklu karşılaştırma testine göre %5 düzeyinde farklılık vardır.

Tablo 4.10. SNP'nin sel baskını koşullarında çilekte SÇKM ve meyve kırmızılığı üzerine etkisi

Uygulamalar	SÇKM	Meyve kırmızılığı
Kontrol	10.1 c	1491.5 ab
SNP	13.6 a	1546.6 a
1 günlük sel baskını	10.2 c	1376.4 bc
1 günlük sel baskını+SNP	9.1 c	1406.2 ac
2 günlük sel baskını	12.0 b	1316.7 c
2 günlük sel baskını+SNP	11.8 b	1396.4 ac

5.TARTIŞMA

Çalışmada, köklere yapılan SNP uygulamasının çilekte sel baskını stresinin engelleyici etkilerini azalttığını göstermiştir. Sel baskını, bitki büyümesini baskılamıştır, klorofil biyosentezini engellemiştir ve yaprak korteks hücrelerini ve ksilem iletim demetlerini etkilemiştir. O₂ eksikliğini tolere etme yeteneği türler arasında farklılık gösterir ve çilek bitkileri dayanıksız olarak bilinmektedir (Blanke ve Cooke, 2004). Bu sebeple bu çalışmada sel baskınının çilek türü üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bitkiler sel baskını nedeniyle strese girdiğinde ilk tepkilerinden biri bitki gövdesinde hava boşluğu oluşturmaktır. Aerenkima oluşumu su altında kalmış bitkilerde oksijen depolamasını ve kullanılmasını kolaylaştırır (Kludze vd., 1993). Birçok çalışma kökteki aerenkima oluşumunun sel baskını stresine karşı bir savunma sistemi olduğunu ortaya koymuştur (Takahashi vd., 2014; Wany vd., 2017). Kök korteksindeki aerenkimanın artması, bitkilerin hipoksi koşulları altında hayatta kalmasına yardımcı olur ve bu da korteksin zayıflamasına neden olur. Köklere ek olarak yapraklarda ve orta damarlarda da aerenkima oluşabilmektedir (Takahashi vd., 2014).

Yapraklar asimilasyonun ana organıdır ve fotosentetik kapasiteye sahiptir. Bir yaprak hem palizat hem de süngerimsi parankimadan oluşur. Fotosentez öncelikle palizat dokusunda meydana gelirken, sünger parankiması gaz depolanmasından sorumludur (Nardini vd., 2010; Sorin vd., 2015). Bu çalışmada, sel baskını koşullarında köklerde ve orta damarda aerenkima oluşumu gözlenmemiştir. SNP uygulaması ve sel baskını koşulları yaprak aerenkima oluşumunun artmasına neden olmuştur. Sel baskını sonucu köklerde aerenkima oluşmaması bitkilerin fazla zarar görmediğini ve korunduğunu gösterebilmektedir. Anatomik gözlemlerde ilk tepki yapraklarda görülmüştür. Hücre bölünmesi ve sünger parankiması genişlemesi gaz boşluğunun artmasına katkıda bulunabilmektedir (Liang vd., 2008).

Bu çalışmada SNP uygulaması, kontrole kıyasla sünger parankimasını arttırmıştır. Bununla birlikte, sel baskını ve sel baskını + SNP uygulamaları sünger hücre genişlemesini engellemiş ve hücrelerin çökmesine neden olmuş olabilir (Şekil 2). Çalışma, çilekteki sünger parankima boşluğunun yaklaşık %8 olabileceğini ve sel baskını koşullarında yaklaşık %17'ye çıkabileceğini göstermiştir. Çilek yaprakları, dokuda daha fazla gaz depolayabilmesi için sel baskını koşulları altında sünger parankimasını çökertmiştir. Önceki çalışmalar, SNP uygulamasının stres koşullarında

sünger parankimasını koruduğunu ve iyileştirdiğini göstermiştir (Tripathi vd., 2017; Vital vd., 2019).

Çalışmamızda SNP uygulaması, stres koşullarında gaz depolanmasını arttırmak amacıyla stres altında sünger parankimasını iyileştirmiş ve sünger parankiması hücrelerine zarar vermiştir. Yapılmış çalışmalar nitrik oksit ve etilenin PHÖ'nün düzenlenmesinde etkileşime girebildiğini göstermiştir (Ahlfors vd., 2009; Wang vd., 2010). Bu nedenle, SNP'nin, stres koşulları altında gaz depolanmasını arttırmak için etilen ile etkileşime girerek PHÖ'yü tetikleyebileceğini düşünmekteyiz.

Çalışmada yaprak orta damarının anatomisi değerlendirilmiştir. Yaprak orta damarında korteks hücre büyümesi gözlenmiştir. Bir günlük sel baskını hücre boyutunun azalmasına neden olurken, iki günlük sel baskını hücre boyutunun artmasına neden olmuştur. Hücre büyümesi, hücreler arasında boşluk oluşturarak sel baskınına karşı savunma mekanizmasını oluşturabilmektedir (Nishiuchi vd., 2012).

SNP, hem stressiz hem de bir günlük sel baskını durumunda hücre büyümesini arttırmıştır. Ksilem iletim demetleri aynı zamanda SNP ve sel baskını koşullarından da etkilenmiştir. SNP, hem stres olmayan hem de sel baskını koşullarında ksilem damar çapını arttırmıştır. Ksilem, bitkilerde su ve besin maddelerinin taşınmasında önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir (Aras, 2021; Aras ve Endes, 2023).

Sel baskını stresi çilekte kuru kök/ sürgün oranını ve büyüme oranını önemli ölçüde azaltmıştır. Önceki çalışmalarda birçok bitkinin büyümesinde sel baskınına bağlı gerilemeler bildirilmiştir (Fani ve diğerleri. 2014; Pimentel ve diğerleri. 2014; Mfarrej ve diğerleri. 2021).

Bitki büyümesindeki azalış, köklerin besin alımında azalması sonucunda gerçekleşmiş olabilir (Milroy vd., 2009; Ashraf vd., 2011; Mfarrej vd., 2021). SNP uygulaması, stres uygulamasına tabi tutulan bitkilerle karşılaştırıldığında bitki büyüme parametrelerini arttırmıştır. SNP, yapraklarda aerenkima oluşumunu iyileştirerek bitkilerin sel baskını koşullarında oksijen sağlamasına yardımcı olmuştur. Böylece çalışma, yapraklarda aerenkima oluşumunu artırarak bitkilerde büyümenin baskılanmasını önlediğini sergilemiştir.

Sel baskını stresi çilekte klorofil biyosentezini önemli ölçüde engellemiştir. Klorofil konsantrasyonu sel baskını koşulları altında, özellikle 2 günlük stres sonucunda önemli derecede azalmıştır. Fotosentezde önemli bir pigment olan klorofil, bir tetrapireol bileşiğidir. Biyosentezi 5-aminolevulinik asit (ALA) oluşumu ile başlar ve protoporfirin IX (Proto IX), Mg-Proto IX ve protoklorofilid (Pchlde) gibi çeşitli porfirinlerin sentezi yoluyla ilerlemektedir (Tanaka ve Tanaka 2007).

Çalışmada, klorofil öncülleri olarak Proto IX, Mg-Proto IX ve Pchlde konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Bir günlük sel baskını öncüllerin konsantrasyonunu azaltmıştır. Bununla birlikte, iki günlük sel baskını öncüllerin konsantrasyonlarını farklı şekilde etkilemiştir. İki günlük sel baskını stresi, Pchlde basamağında klorofil biyosentezini engellemiştir. Yu ve diğerleri (2019), *Magnolia sinostellata*'da klorofil biyosentezinin sel baskını nedeniyle bozulduğunu bildirmiştir. Sel baskını koşulları altında birçok bitkide klorofil kaybı olduğu belirlenmiştir (Tuo vd., 2015; Zeng vd., 2021). Çilek büyümesindeki azalma, klorofil konsantrasyonundaki azalmaya bağlanabilir.

Sel baskını koşulları meyve ağırlığında ve boyutunda önemli bir kayba neden olmuştur, bitki büyümesindeki azalış bu kayba sebep olabilir. Ayrıca meyve ağırlığı ve boyutunda azalma ksilem işlev bozukluğunun bir sonucu olabilir. Ksilem çapında azalma sel baskınından kaynaklanan su ve mineral alımını etkileyerek meyve ağırlığını ve büyüklüğünü olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Miqueloto vd., 2014; Li vd., 2021). Birçok çalışma, sel baskını stresinin çeşitli bitkilerde meyve ağırlığını ve büyüklüğünü olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir (Ou vd., 2017; Barickman vd., 2019; Ide vd., 2022).

6.SONUÇ ve ÖNERİLER

Sel baskını stresi çilek büyümesini baskılamış, klorofil biyosentezini engellemiş ve meyve pomolojisini olumsuz yönde etkilemiştir. SNP uygulaması, sel baskını koşulları altında büyümeyi, korteks hücre genişlemesini ve ksilem iletim demetini iyileştirmiştir. Ayrıca, SNP meyve kalite özelliklerini arttırmıştır. SNP uygulaması, stresli olmayan koşullarda sünger parankimasını iyileştirirken, stres koşulları altında gaz depolanmasını artırmak için sünger hücrelerinin yapısını bozarak gerçekleştirmiştir.



7.KAYNAKLAR

- Ahlfors, R., Brosché, M., & Kangasjär, J. (2009). Ozone and nitric oxide interaction in *Arabidopsis thaliana*, a role for ethylene? A role for ethylene?. *Plant signaling & behavior*, 4(9), 878-879.
- Akanksha Jaiswal, A. J., & Srivastava, J. P. (2016). Nitric oxide mitigates waterlogging stress by regulating antioxidative defense mechanism in maize (*Zea mays* L.) roots.
- Amor, F. D., & Marcelis, L. F. M. (2003). Regulation of nutrient uptake, water uptake and growth under calcium starvation and recovery. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 78(3), 343-349.
- Aras, S. (2021). Determination of xylem water flow velocity of some *Prunus* shoots by dye infusion technique. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 25(3), 287-292.
- Aras, S. (2022). Cortical cells, xylem vessels, and chlorophyll biosynthesis improved by acetylsalicylic acid and sodium nitroprusside in peach leaves. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 59(3), 409-417.
- Aras, S. (2022). Sodium nitroprusside and acetylsalicylic acid provided earliness in peach flower bud phenological stages by triggering xylogenesis. *Zemdirbyste-Agriculture*, 109(4).
- Aras, S., & Endes, A. (2023). Effect of *Fusarium oxysporum* infection on strawberry under calcium, iron, and zinc deficiency conditions. *Zemdirbyste-Agriculture*, 110(1).
- Aras, S., Keles, H., & Bozkurt, E. (2021). Physiological and histological responses of peach plants grafted onto different rootstocks under calcium deficiency conditions. *Scientia Horticulturae*, 281, 109967.
- Aras, S., Keles, H., & Eşitken, A. (2020). SNP mitigates malignant salt effects on apple plants.
- Ashraf, M. A., Ahmad, M. S. A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., & Ashraf, M. Y. (2011). Alleviation of waterlogging stress in upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) by

- exogenous application of potassium in soil and as a foliar spray. *Crop and Pasture Science*, 62(1), 25-38.
- Ashraf, M. F. M. R., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and experimental botany*, 59(2), 206-216.
- Bailey-Serres, J., Lee, S. C., & Brinton, E. (2012). Waterproofing crops: effective flooding survival strategies. *Plant physiology*, 160(4), 1698-1709.
- Barickman, T. C., Simpson, C. R., & Sams, C. E. (2019). Waterlogging causes early modification in the physiological performance, carotenoids, chlorophylls, proline, and soluble sugars of cucumber plants. *Plants*, 8(6), 160.
- Barman, A., Pandey, R. N., Singh, B., & Das, B. (2017). Manganese deficiency in wheat genotypes: Physiological responses and manganese deficiency tolerance index. *Journal of Plant Nutrition*, 40(19), 2691-2708.
- Blanke, M. M., & Cooke, D. T. (2004). Effects of flooding and drought on stomatal activity, transpiration, photosynthesis, water potential and water channel activity in strawberry stolons and leaves. *Plant Growth Regulation*, 42, 153-160.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2020). Effect of salicylic acid and sodium nitroprusside on growth parameters, photosynthetic pigments and secondary metabolites of safflower under drought stress. *Scientia Horticulturae*, 259, 108823.
- Christou, A., Manganaris, G. A., & Fotopoulos, V. (2014). Systemic mitigation of salt stress by hydrogen peroxide and sodium nitroprusside in strawberry plants via transcriptional regulation of enzymatic and non-enzymatic antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*, 107, 46-54.
- Corte-Real, J., Bertucci, M., Soukoulis, C., Desmarchelier, C., Borel, P., Richling, E., ... & Bohn, T. (2017). Negative effects of divalent mineral cations on the bioaccessibility of carotenoids from plant food matrices and related physical properties of gastro-intestinal fluids. *Food & function*, 8(3), 1008-1019.
- Dr, H. (1950). The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agri. Exp. Stat. Circ.*, 347, 1-32.

- Drew, M. C., He, C. J., & Morgan, P. W. (2000). Programmed cell death and aerenchyma formation in roots. *Trends in plant science*, 5(3), 123-127.
- Evans, D. E. (2004). Aerenchyma formation. *New phytologist*, 161(1), 35-49.
- Fan, H. F., Du, C. X., Ding, L., & Xu, Y. L. (2014). Exogenous nitric oxide promotes waterlogging tolerance as related to the activities of antioxidant enzymes in cucumber seedlings. *Russian Journal of Plant Physiology*, 61, 366-373.
- FAO, 2022. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim tarihi 19.05.2024).
- Fujita, M., Fujita, Y., Noutoshi, Y., Takahashi, F., Narusaka, Y., Yamaguchi-Shinozaki, K., & Shinozaki, K. (2006). Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signaling networks. *Current opinion in plant biology*, 9(4), 436-442.
- Hodgins, R. R., & Van Huystee, R. B. (1986). Rapid simultaneous estimation of protoporphyrin and Mg-porphyrins in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 125(3-4), 311-323.
- Ide, R., Ichiki, A., Suzuki, T., & Jitsuyama, Y. (2022). Analysis of yield reduction factors in processing tomatoes under waterlogging conditions. *Scientia horticulturae*, 295, 110840.
- Jackson, M. B., & Colmer, T. (2005). Response and adaptation by plants to flooding stress. *Annals of botany*, 96(4), 501-505.
- Jaiswal, A., & Srivastava, J. P. (2015). Effect of nitric oxide on some morphological and physiological parameters in maize exposed to waterlogging stress. *African Journal of Agricultural Research*, 10(35), 3462-3471.
- Jaiswal, A., & Srivastava, J. P. (2018). Changes in reactive oxygen scavenging systems and protein profiles in maize roots in response to nitric oxide under waterlogging stress.
- Jian, W., Zhang, D. W., Zhu, F., Wang, S. X., Pu, X. J., Deng, X. G., ... & Lin, H. H. (2016). Alternative oxidase pathway is involved in the exogenous SNP-elevated tolerance of *Medicago truncatula* to salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 193, 79-87.

- Kacar, B., Katlav, V., Öztürk, Ş. (2006). Bitki Fizyolojisi, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karabıyık, Ş. (2024). Putrescine Affects Fruit Yield and Quality by Promoting Effective Pollination Period in Citrus limon. *Applied Fruit Science*, 66(2), 559-567.
- Khan, M. A., Khan, A. L., Imran, Q. M., Asaf, S., Lee, S. U., Yun, B. W., ... & Lee, I. J. (2019). Exogenous application of nitric oxide donors regulates short-term flooding stress in soybean. *PeerJ*, 7, e7741.
- Kludze, H. K., DeLaune, R. D., & Patrick Jr, W. H. (1993). Aerenchyma formation and methane and oxygen exchange in rice. *Soil Science Society of America Journal*, 57(2), 386-391.
- Li, H., Zhang, X., Hou, X., & Du, T. (2021). Developmental and water deficit-induced changes in hydraulic properties and xylem anatomy of tomato fruit and pedicels. *Journal of Experimental Botany*, 72(7), 2741-2756.
- Liang, F., Shen, L. Z., Chen, M., & Yang, Q. (2008). Formation of intercellular gas space in the diaphragm during the development of aerenchyma in the leaf petiole of *Sagittaria trifolia*. *Aquatic botany*, 88(3), 185-195.
- Liu, Y., Shen, Y., Zhang, K. M., Fang, Y. M., & Yang, J. (2015). Effect of root exudates of *Bidens pilosa* on growth and development of gametophyte of *Pteris multifida*. *Acta Agric Boreali-Sin*, 24(7), 149-155.
- Loreti, E., van Veen, H., & Perata, P. (2016). Plant responses to flooding stress. *Current opinion in plant biology*, 33, 64-71.
- Mfarrej, M. F. B., Wang, X., Hamzah Saleem, M., Hussain, I., Rasheed, R., Arslan Ashraf, M., ... & Nasser Alyemeni, M. (2022). Hydrogen sulphide and nitric oxide mitigate the negative impacts of waterlogging stress on wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biology*, 24(4), 670-683.
- Milroy, S. P., Bange, M. P., & Thongbai, P. (2009). Cotton leaf nutrient concentrations in response to waterlogging under field conditions. *Field Crops Research*, 113(3), 246-255.
- Miqueloto, A., do Amarante, C. V. T., Steffens, C. A., dos Santos, A., & Mitcham, E. (2014). Relationship between xylem functionality, calcium content and the incidence of bitter pit in apple fruit. *Scientia Horticulturae*, 165, 319-323.

- Nardini, A., Raimondo, F., Lo Gullo, M. A., & Salleo, S. (2010). Leafminers help us understand leaf hydraulic design. *Plant, Cell & Environment*, 33(7), 1091-1100.
- Ni, X. L., Meng, Y., Zheng, S. S., & Liu, W. Z. (2014). Programmed cell death during aerenchyma formation in *Typha angustifolia* leaves. *Aquatic Botany*, 113, 8-18.
- Nishiuchi, S., Yamauchi, T., Takahashi, H., Kotula, L., & Nakazono, M. (2012). Mechanisms for coping with submergence and waterlogging in rice. *Rice*, 5, 1-14.
- O'Brien, T., Feder, N. M. E. M., & McCully, M. E. (1964). Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. *Protoplasma*, 59, 368-373.
- Ou, L. J., Liu, Z. B., Zhang, Y. P., & Zou, X. X. (2017). Effects of exogenous Ca²⁺ on photosynthetic characteristics and fruit quality of pepper under waterlogging stress. *Chilean journal of agricultural research*, 77(2), 126-133.
- Pan, R., Buitrago, S., Feng, X., Hu, A., Zhou, M., & Zhang, W. (2022). Ethylene regulates aerenchyma formation in cotton under hypoxia stress by inducing the accumulation of reactive oxygen species. *Environmental and Experimental Botany*, 197, 104826.
- Pimentel, P., Almada, R. D., Salvatierra, A., Toro, G., Arismendi, M. J., Pino, M. T., ... & Pinto, M. (2014). Physiological and morphological responses of *Prunus* species with different degree of tolerance to long-term root hypoxia. *Scientia horticulturae*, 180, 14-23.
- Schmitz-Eiberger, M., Haefs, R., & Noga, G. (2002). Calcium deficiency-influence on the antioxidative defense system in tomato plants. *Journal of Plant Physiology*, 159(7), 733-742.
- Sorin, C., Musse, M., Mariette, F., Bouchereau, A., & Leport, L. (2015). Assessment of nutrient remobilization through structural changes of palisade and spongy parenchyma in oilseed rape leaves during senescence. *Planta*, 241, 333-346.
- Staudt, G. (1989). The species of *Fragaria*. The taxonomy and geographical distribution. *Acta Horticulturae*, 439, 55-62.
- Takahashi, H., Yamauchi, T., Colmer, T. D., & Nakazono, M. (2014). Aerenchyma formation in plants. *Low-oxygen stress in plants: Oxygen sensing and adaptive responses to hypoxia*, 247-265. Yamauchi, T., Shimamura, S., Nakazono, M., &

- Mochizuki, T. (2013). Aerenchyma formation in crop species: a review. *Field Crops Research*, 152, 8-16.
- Tanaka, R., & Tanaka, A. (2007). Tetrapyrrole biosynthesis in higher plants. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 58(1), 321-346.
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Srivastava, P. K., Singh, V. P., Singh, S., ... & Chauhan, D. K. (2017). Nitric oxide alleviates silver nanoparticles (AgNps)-induced phytotoxicity in *Pisum sativum* seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 167-177.
- Tuo, X. Q., Li, S., Wu, Q. S., & Zou, Y. N. (2015). Alleviation of waterlogged stress in peach seedlings inoculated with *Funneliformis mosseae*: Changes in chlorophyll and proline metabolism. *Scientia Horticulturae*, 197, 130-134.
- Türkan, I., & Demiral, T. (2009). Recent developments in understanding salinity tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1), 2-9.
- Visser, E. J. W., Bögemann, G. M., Van de Steeg, H. M., Pierik, R., & Blom, C. W. P. M. (2000). Flooding tolerance of *Carex* species in relation to field distribution and aerenchyma formation. *The New Phytologist*, 148(1), 93-103.
- Vital, R. G., Müller, C., da Silva, F. B., Batista, P. F., Merchant, A., Fuentes, D., ... & Costa, A. C. (2019). Nitric oxide increases the physiological and biochemical stability of soybean plants under high temperature. *Agronomy*, 9(8), 412.
- Voesenek, L. A. C. J., Colmer, T. D., Pierik, R., Millenaar, F. F., & Peeters, A. J. M. (2006). How plants cope with complete submergence. *New phytologist*, 170(2), 213-226.
- Wang, W., Vinocur, B., Shoseyov, O., & Altman, A. (2004). Role of plant heat-shock proteins and molecular chaperones in the abiotic stress response. *Trends in plant science*, 9(5), 244-252.
- Wang, Y., Chen, C., Loake, G. J., & Chu, C. (2010). Nitric oxide: promoter or suppressor of programmed cell death?. *Protein & cell*, 1, 133-142.
- Wang, Y., Loake, G. J., & Chu, C. (2013). Cross-talk of nitric oxide and reactive oxygen species in plant programmed cell death. *Frontiers in plant science*, 4, 314.

- Wany, A., Kumari, A., & Gupta, K. J. (2017). Nitric oxide is essential for the development of aerenchyma in wheat roots under hypoxic stress. *Plant, Cell & Environment*, 40(12), 3002-3017.
- Wany, A., Kumari, A., & Gupta, K. J. (2017). Nitric oxide is essential for the development of aerenchyma in wheat roots under hypoxic stress. *Plant, Cell & Environment*, 40(12), 3002-3017.
- Yin, D., Zhang, Z., & Luo, H. (2012). Anatomical responses to waterlogging in *Chrysanthemum zawadskii*. *Scientia horticulturae*, 146, 86-91.
- Yu, Q., Shen, Y., Wang, Q., Wang, X., Fan, L., Wang, Y., ... & Zhang, M. (2019). Light deficiency and waterlogging affect chlorophyll metabolism and photosynthesis in *Magnolia sinostellata*. *Trees*, 33, 11-22.
- Zeng, R., Chen, T., Wang, X., Cao, J., Li, X., Xu, X., ... & Zhang, L. (2021). Physiological and expressional regulation on photosynthesis, starch and sucrose metabolism response to waterlogging stress in peanut. *Frontiers in Plant Science*, 12, 601771.
- Zhang, Y., Liu, G., Xu, S., Dai, J., Li, W., Li, Z., ... & Dong, H. (2022). Nitric oxide reduces the yield loss of waterlogged cotton by enhancing post-stress compensatory growth. *Field Crops Research*, 283, 108524

Emrullah KAYA

Yüksek Lisans Tezi

YOZGAT 2024



**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**